

CARACTERÍSTICAS DO SUPRIMENTO DE FÓSFORO EM MILHO-DOCE EM SOLO DE CERRADO¹

FILOMENA LEONOR I.M. SILVA e JOSÉ RONALDO MAGALHÃES²

RESUMO - O suprimento de fósforo para milho-doce cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo foi estudado em duas fases. Na primeira, nove níveis de P, variando de 10 a 600 mg de P/kg de solo, foram aplicados ao solo virgem, na forma de superfosfato triplo. Na segunda fase experimental, cinco níveis de P, variando de 10 a 500 mg de P/kg de solo, foram aplicados em cada um dos nove níveis da primeira fase, em sulco simulado, em vasos de 5 litros de volume. O crescimento das plantas e a resposta de absorção de P foram relacionados com o P aplicado, calculando-se equações de regressão, para cada fase. As equações $Y = a - bP + cP^2$, relacionando o P necessário para se obter 90% do máximo de crescimento para a fase dois, versus P na análise do solo, foram plotadas. Estas equações foram calculadas para três métodos de análise de P: P na solução do solo, P extraído por ácido duplo e P extraído com resina.

Termos para indexação: solução do solo, sorção de fósforo, métodos de extração de fósforo, resina.

CHARACTERISTICS OF PHOSPHORUS SUPPLY TO SWEET CORN GROWN ON A "CERRADO" SOIL

ABSTRACT - Phosphorus supply to sweet corn grown on a Red-Yellow Latosol was studied in two steps. In the first one, nine P levels ranging from 10 to 600 mg of P/kg of soil were applied to an untreated soil of Brazilian "cerrado", by mixing triple superphosphate. In the second experimental study, five P levels ranging from 10 to 500 mg of P/kg of soil were applied to each of the nine levels of the first phase, in a simulated furrow, in 5 liter pots. Plant growth and P uptake responses were related to applied P for both treatments, by calculating regression equations for each step. The $Y = a - bP + cP^2$ equations relating P needed to obtain 90% maximum growth to phosphorus in the soil at each experiment of study two were fitted. These equations were calculated for three methods of P soil analysis: P in the soil solution, P extractable by double acid and P extracted by resin.

Index terms: soil solution, phosphorus sorption, methods of phosphorus extraction, resin.

INTRODUÇÃO

A absorção de P pelas plantas é bastante relacionada com a quantidade de P disponível no solo, com os parâmetros de distribuição radicular e com fatores ambientais que influenciam o crescimento vegetal. Na maioria das vezes, a difusão de P para a raiz determina a concentração de P na superfície radicular.

Vários estudos mostraram correlações entre as taxas de fertilizantes aplicados e a resposta de crescimento das culturas ao nutriente adicionado (Borges et al. 1979). Há alguns dados publicados sobre os níveis de P extraído do solo, antes da aplicação dos fertilizantes (Colwell & Morton 1984, Jones et al. 1979) mas são limitados os dados disponíveis na literatura sobre o efeito da taxa de P adicionada ao solo e o subsequente aumento do P na solução do solo (Kovar & Barber 1988).

Recentemente, uma das áreas mais ativas de pesquisa em fertilidade do solo tem sido a investigação da interação de nutrientes que ocorre na interface solo-raiz (Rengel & Ro-

¹ Aceito para publicação em 5 de fevereiro de 1991

² Eng.-Agr., M.Sc., e Ph.D., respectivamente EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), Caixa Postal 151, CEP 35700, Sete Lagoas, MG.

binson 1990, Anghinoni & Barber 1990). Vários modelos de absorção de nutrientes relacionando o suprimento destes no solo com o influxo de nutrientes na superfície radicular foram desenvolvidos (Silva & Magalhães 1989).

A análise de sensibilidade do modelo matemático que prediz a absorção de P segundo Silberbush & Barber (1983), indica que Cl_i (fósforo na solução do solo) é o parâmetro de maior contribuição na absorção predita de P. A informação sobre P na solução do solo é necessária para a determinação da taxa de P a ser uniformemente misturada ao solo, de modo que quantidade adequada de P seja fornecida às raízes. Tal informação é útil para determinar o efeito relativo da adição de P, na absorção deste nutriente pela cultura (Kovar & Barber 1987). Isto requer informações sobre uma ampla faixa de aplicação de diferentes níveis de P, uma vez que colocando a mesma quantidade de P em frações menores de solo, se aumenta a taxa de aplicação por unidade de solo fertilizado.

Os latossolos variam enormemente em níveis de fertilidade, resultado de inúmeras práticas distintas de sistemas de cultivo e manejo, e assim é difícil estabelecer uma recomendação de fertilizantes confiável, baseada apenas nas tradicionais curvas de resposta.

O objetivo do presente trabalho foi estudar as características do suprimento de P em solo de cerrado para a cultura de milho-doce, correlacionando os teores de P determinado na solução do solo, e P extraído por resina e por duplo ácido.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente experimento foi conduzido em 1986, em duas etapas. Na primeira etapa, nove níveis de P (10, 50, 90, 170, 210, 250, 400, 500 e 600 mg de P/kg de solo) foram aplicados a um Latossolo Vermelho-Amarelo de cerrado, virgem, não tratado anteriormente, e com as seguintes características: pH = 4,9; em meq/100 gramas: Al = 1,2; Ca = 0,20 e Mg = 0,30; M.O. = 2,2%; em ppm: P = 0,7; K = 45; NH_4 = 16; NO_3 = 21; Cu = 6,7; Zn =

0,9; Fe = 91; Mn = 11 e Na = 0,1; capacidade de campo = 36,2%; ponto de murcha = 19,6%, argila = 43,5%; silte = 38,2%; areia fina = 14,8% e areia grossa = 3,5%. O P foi aplicado misturando-se superfosfato triplo, para estabelecer larga faixa com os nove níveis de P citados, no solo. A adubação adicional constou de (em mg/kg de solo): $Ca(OH)_2$ = 1500; NH_4NO_3 = 300; K_2SO_4 = 200; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ = 200; bórax = 15; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ = 25; e $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ = 15. O solo foi misturado com os fertilizantes e mantido úmido durante o período de amostragem, antes do plantio. As amostras de solo retiradas eram analisadas quanto a P, semanalmente. Assumiu-se, confirmando experiência anterior (Magalhães et al. 1986), que o equilíbrio foi estabelecido após três semanas, uma vez que as análises de solo realizadas, dentro de cada nível de P, não mais mudaram significativamente após esse período. Foram ainda determinados o poder tampão e o coeficiente de difusão efetivo de P no solo, segundo Barber (1984). O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em vasos de 5 litros, com milho-doce, cv. Superdoce, deixando-se duas plantas por vaso, após o desbaste. O delineamento experimental foi completamente casualizado, com quatro repetições. Na primeira fase, a parte aérea das plantas foi colhida aos 25 dias após o plantio. A segunda fase experimental foi conduzida com cinco níveis de P na forma de superfosfato triplo (10, 60, 100, 300 e 500 mg de P/kg de solo) aplicados em cada um dos nove níveis do experimento inicial; para tal, nesta fase, o P foi localizado em sulco simulado, nos vasos, sendo adicionado ao solo previamente fertilizado com os nove níveis de P idênticos aos da fase I. Não se usou o mesmo solo cultivado da fase anterior. O tempo decorrido entre as duas fases foi de 30 dias. As plantas foram colhidas aos 31 dias após o plantio. Após as colheitas, em cada fase, a parte aérea das plantas foi secada em estufa de circulação de ar, a 70°C, e moída em peneira de 20 mesh. Amostras de 100 mg de tecido foram digeridas em 1,0 ml de ácido sulfúrico concentrado, oxidadas com H_2O_2 e diluídas para 50 ml, com água destilada. O P foi determinado nesta solução pelo método de Murphy & Riley (1962) modificado.

As respostas de crescimento das plantas, em função do P aplicado, foram calculadas para cada um dos nove níveis iniciais de P, usando-se equações de regressão de Mitscherlich. A equação $Y = a - bp + cP^2$ relacionando o P necessário para se obter 90% da produção máxima de cada experimento, foi plotada contra o nível inicial de P no solo. Estas equações

foram calculadas para três métodos de análise de P no solo: P na solução do solo (Barber 1984), P extraído com duplo ácido (Mehlich I), descrito no Manual de métodos de análise do solo da EMBRAPA (1979), e P extraído com resina trocadora de ânions do tipo base forte, Amberlit IRA-400 (Raij & Quaggio 1983).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dois parâmetros de solo que influenciam a absorção de P pela planta foram determinados no presente trabalho, antes e após a adubação com 400 mg de P/kg de solo: poder tampão (b) e coeficiente de difusão efetivo de P no solo (De). Os valores obtidos foram de 343 e $9,20 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ para o solo não adubado, respectivamente para **b** e **De**, e de 1.432 e $1,30 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$, para o solo adubado, para os mesmos parâmetros, o que explica o aumento da capacidade de liberar P com a aplicação deste nutriente (Silva & Magalhães 1990).

Com a aplicação dos nove níveis de P, variando de 10 a 600 mg P/kg de solo, o P disponível variou de 3,9 a 188 ppm (Mehlich I), de 0,003 a 0,233 ppm (solução do solo) e 9,5 a 175 ppm (resina), como se observa na Fig. 1. As curvas para a relação entre o P aplicado e o disponível variam com o método de extração de P; para níveis mais baixos de P aplicado, a concentração de P na solução do solo foi baixa, aumentando ligeiramente, até aproximadamente 300 mg de P aplicados por kg de solo. Além deste ponto, os valores aumentaram exponencialmente. O aumento de P no solo devido ao fertilizante fosfatado aplicado teve coeficientes de correlação significativos para os três métodos de análise de P utilizados. Contudo, o método de medição de P na solução do solo (extraído com água) mostrou uma curva exponencial, enquanto os outros dois métodos mostraram uma forma quase linear. As equações podem dar uma estimativa do nível de P no solo, de acordo com a quantidade de P aplicada. Se usarmos a equação da Fig. 1 para calcular o P extraível, como citam Smyth & Sanchez (1980), os valores aparecem cerca de três vezes maiores em um oxissolo,

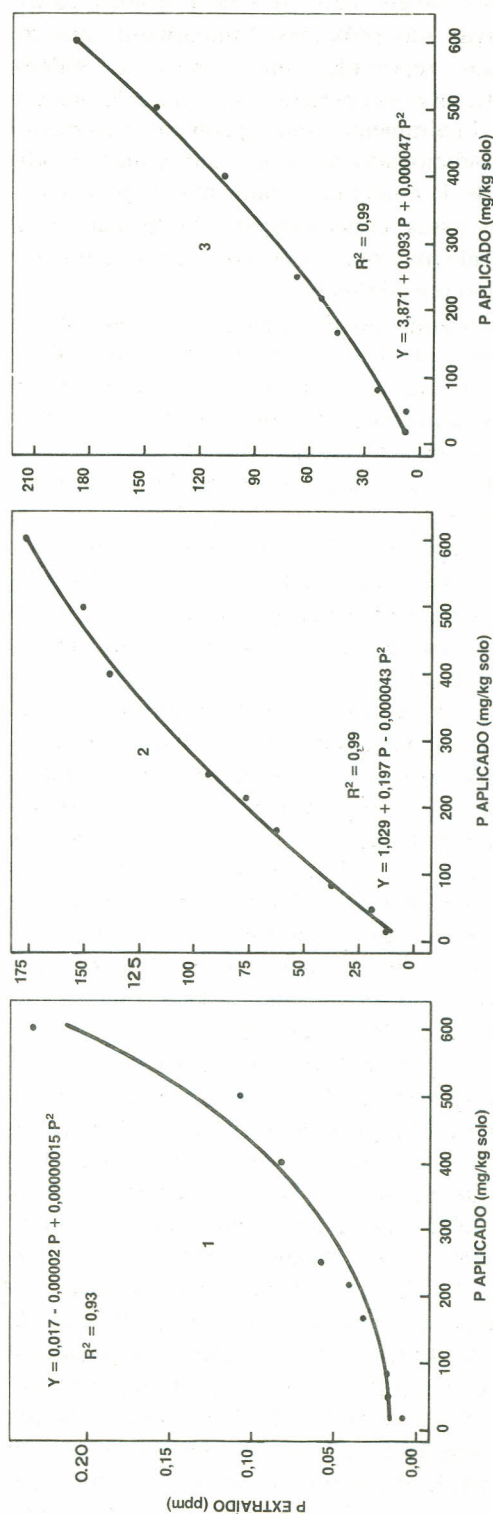


FIG. 1. Relação entre P aplicado ao solo, na forma de superfosfato triplo, e P extraído com água, em coluna de percolação (P na solução do solo), (1); P extraído com resina trocadora de ânions (2) e P extraído por Mehlich I (3).

mas nos níveis mais altos de P usados, as estimativas são próximas. Similarmente aos resultados reportados em Fontes & Wilcox (1983), as concentrações de P no solo aumentaram ligeiramente com o primeiro incremento de P adicionado ao solo, e subseqüentes adições de P tenderam a aumentar exponencialmente essas concentrações, tanto para o P analisado na solução do solo, como para o P extraído por Mehlich I.

O crescimento das plantas aumentou até o mais alto nível de P no solo, não atingindo o máximo (Fig. 2). O peso de matéria seca das plantas aumentou curvilinearmente até o peso máximo, para P extraído da solução do solo, e aumentou de uma forma sigmoidal para os dados de P extraídos com Mehlich I e resina. A Fig. 2 explica, assim, por que pequenas quantidades de P adicionado ao solo não são suficientes para uma boa produção vegetal, uma vez que os valores observados na solução do solo são baixos, e se correlacionam diretamente com a quantidade de P absorvida pela planta, dando, assim, uma medida da disponibilidade do P para o crescimento das culturas. É interessante observar que as equações de regressão plotadas, relacionando o peso de matéria seca com o P na análise de solo, mostraram a maior inclinação da curva para o P na solução do solo, indicando uma melhor resposta da planta ao aumento de P na solução, quando comparado com o P extraído pelos outros dois métodos citados.

Na Fig. 3, a forma da curva corresponde às características de sorção do solo, com alta adsorção de P para baixos níveis de P aplicado ao solo. À medida que aumentava o nível de P aplicado ao solo, o peso de matéria seca da parte aérea das plantas aumentava exponencialmente, sem atingir o máximo. A concentração de P no tecido vegetal teve uma boa correlação com o aumento de P aplicado ao solo (Fig. 3). A adsorção de P variou de 93 a 68% do P adicionado, medido por Mehlich I. A percentagem do P adsorvido, obtida pela relação P aplicado versus P extraído por Mehlich I, diminuiu no solo, à medida que aumentou a quantidade de fertilizante aplica-

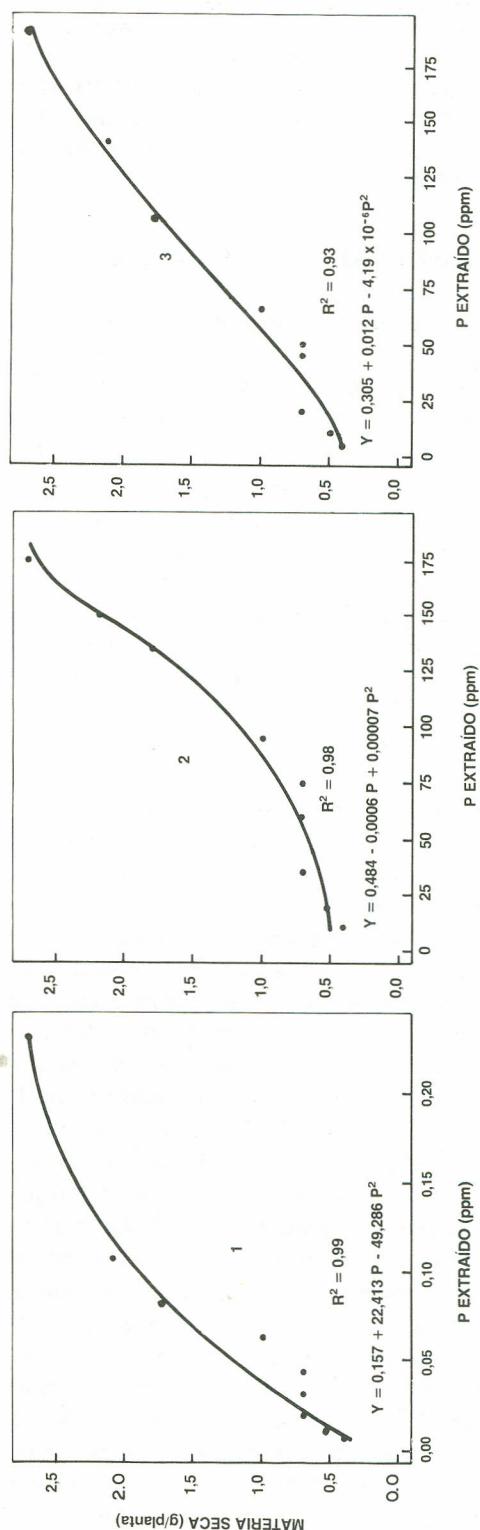


FIG. 2. Crescimento de milho-doce, em função do P extraído com água, em coluna de percolação (P na solução do solo), (1); P extraído com resina trocadora de ânions (2) e P extraído por Mehlich I (3).

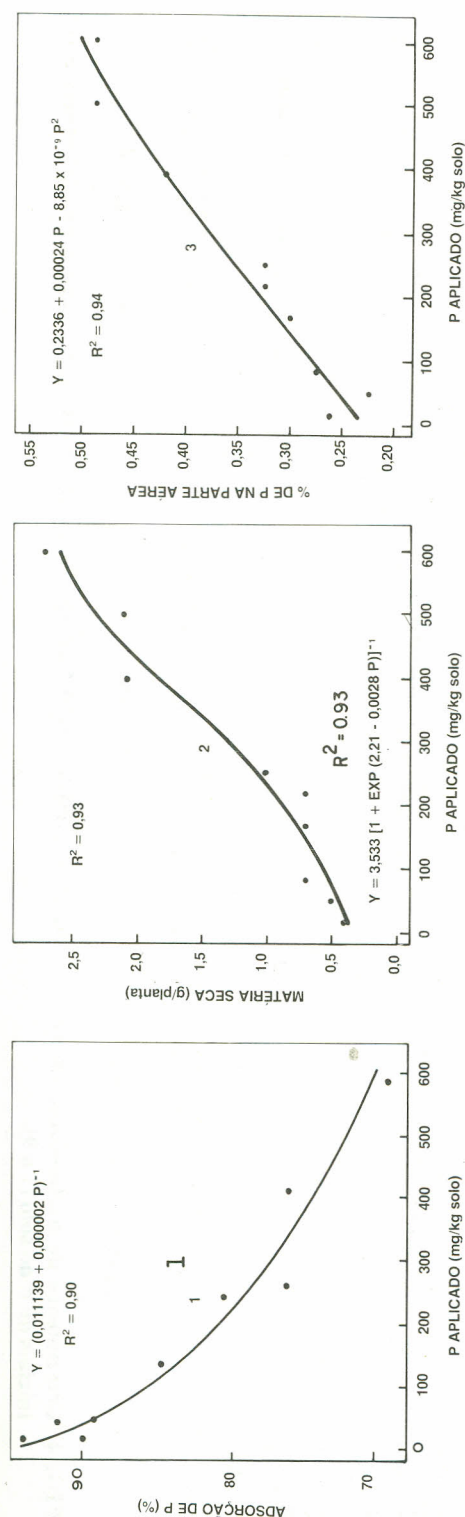


FIG. 3. Adsorção de P em função do P aplicado ao solo, na forma de superfosfato triplo (1); crescimento de milho-doce, em função do P aplicado ao solo, na forma de superfosfato triplo (2) e % de P na parte aérea de milho-doce, em função do P aplicado ao solo, na forma de superfosfato triplo (3).

do. A resposta de crescimento do milho-doce, ao nível de P aplicado ao solo foi mais estreitamente relacionada com o aumento de P na solução do solo, quando comparada ao P extraído por Mehlich I ou resina (Fig. 1).

A sobreposição de níveis de fertilização fosfatada em cada um dos nove níveis iniciais de P, além do sétimo nível de P aplicado (400 mg de P/kg de solo), não causou resposta significativa do milho-doce à aplicação adicional de P. À medida que o nível de P no solo aumentou (Fig. 4), menos P era requerido para se obter a máxima produção.

Equações relacionando o P necessário para se obter 90% da produção máxima, versus níveis de P na análise de solo pelos três métodos foram plotadas (Fig. 5); um modelo de dupla fase foi calculado, onde a primeira fase é representada por uma equação quadrática $Y = a - bP + cP^2$, e a segunda fase é representada por uma linha reta, coincidindo com o eixo horizontal. O modelo é contínuo, e todos os parâmetros foram estimados. O eixo horizontal, para valores de P na análise de solo, varia entre 100 e 125 ppm (resina), 75 a 100 ppm (Mehlich I) e 0,05 a 0,10 ppm (solução do solo).

O método de P extraído da solução do solo foi o que gerou a mais elevada correlação, bem como maior inclinação da curva; a quantidade de P requerida diminuiu rapidamente, quando aumentou o P na análise de solo.

Jones et al. (1979) verificaram que o nível de P extraído do solo influenciava a resposta de produção de batata-doce ao P aplicado; as respostas apresentavam tendência curvilínea, e o grau de expressão da relação entre a resposta ao P e o nível de P no solo era, de algum modo, afetado pelas taxas de aplicação de P.

Vale salientar que a literatura não tem dados da natureza específica do presente estudo, para uma melhor confrontação de resultados, quando se desejam subsídios para estimar a quantidade de P na solução do solo, com base no teor de P aplicado e analisado pelos métodos de análise convencionais.

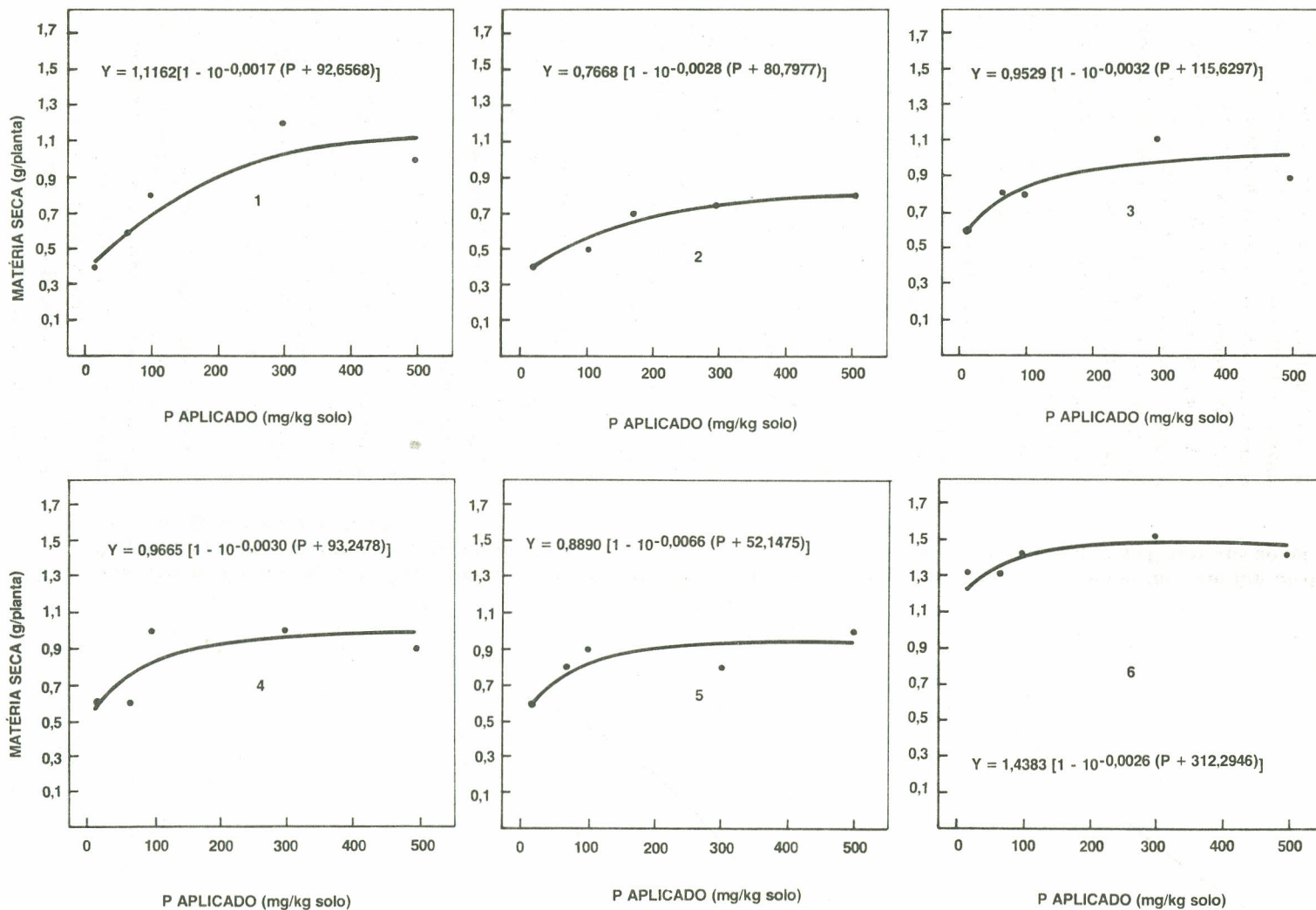


FIG. 4. Crescimento de milho-doce, em resposta ao P localizado em sulcos, na forma de superfosfato triplo, em diferentes níveis iniciais de P no solo (1 a 9).

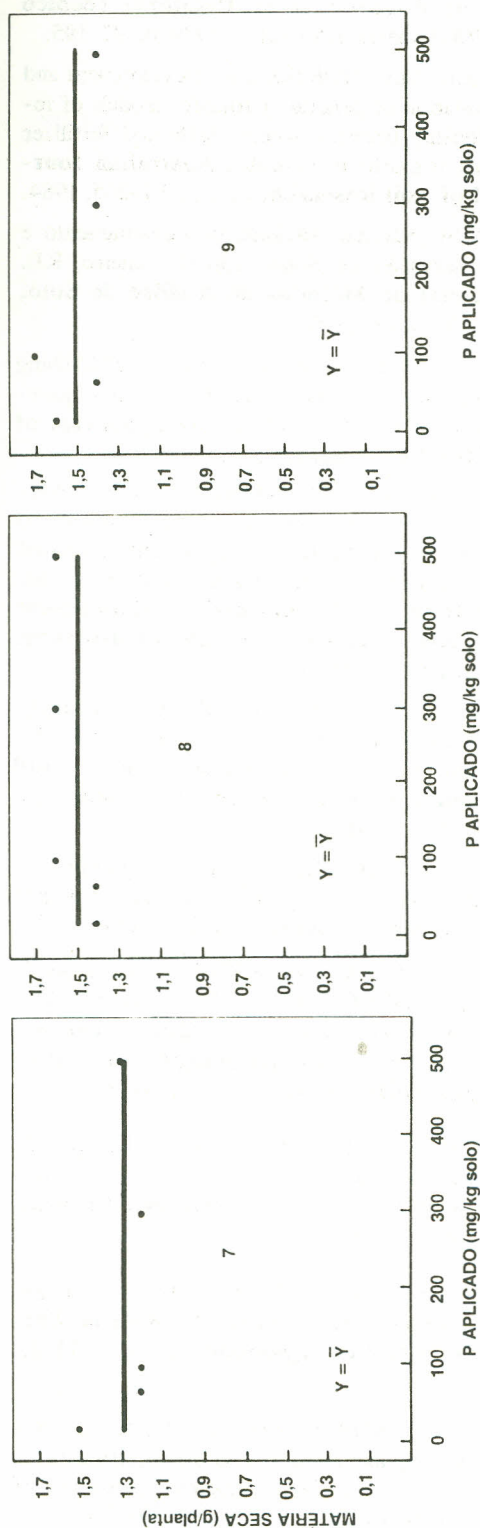


FIG. 4. (Continuação). Crescimento de milho-doce, em resposta ao P localizado em sulcos, na forma de superfosfato triplo, em diferentes níveis iniciais de P no solo (1 a 9).

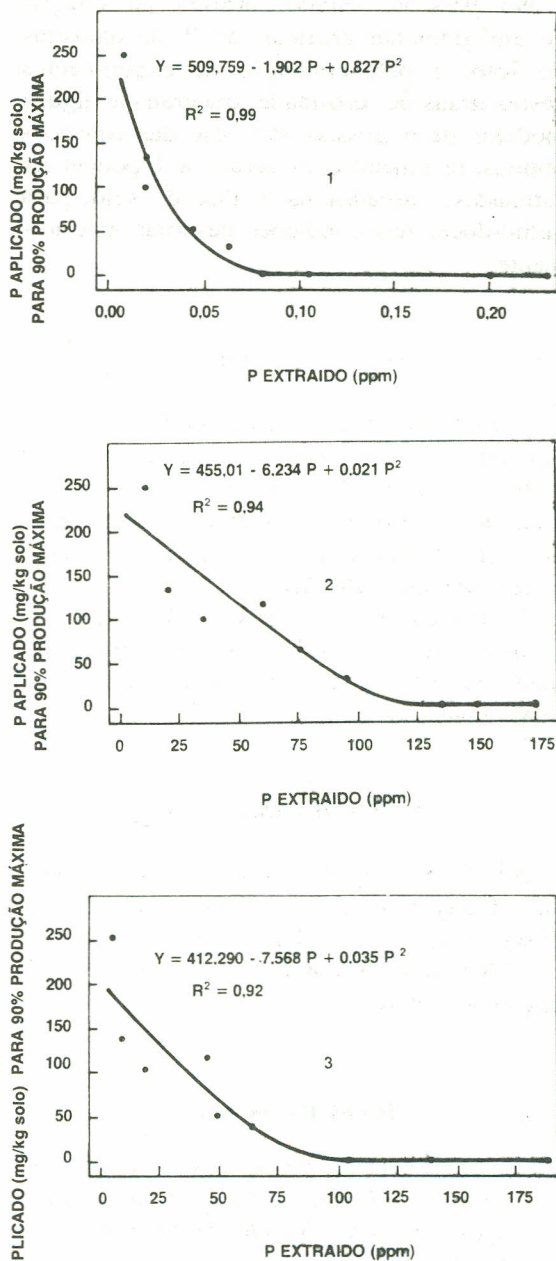


FIG. 5. Quantidade de P necessária para se atingir 90% do máximo crescimento de milho-doce, em função do nível inicial de P extraído do solo com água, em coluna de percolação (P na solução do solo), (1); P extraído com resina trocadora de ânions (2) e P extraído por Mehlich I (3).

No presente estudo, através da criação de um gradiente artificial de P em amostras de solo, e pela condução de experimentos nestes graus de fertilidade, traçaram-se alguns modelos de regressão. Pelo uso das equações obtidas, recomendações gerais de P podem ser estimadas, baseadas na análise do solo, para milho-doce, nas condições descritas anteriormente.

CONCLUSÕES

1. Pode-se estimar a quantidade de P a ser aplicado no solo para 90% da produção de matéria seca aos 31 dias do milho-doce, pela equação $Y = a - bP + cP^2$, onde P é a quantidade de fósforo analisada no solo, nas condições experimentais utilizadas.

2. 90% da produção máxima de matéria seca aos 31 dias do milho-doce foi obtida com uma concentração de P na solução do solo de 0,062 ppm.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Stanley A. Barber, Pardue University, Lafayette-IN, USA, pela revisão do manuscrito original, e à Dra. Célia M.T. Cordeiro, EMBRAPA/Cenargen, pelas análises de regressão efetuadas.

REFERÊNCIAS

- ANGHINONI, I.; BARBER, S.A. Predicting the effect of ammonium placement on nitrogen uptake by corn. *Agronomy Journal*, v.82, p.135-138, 1990.
- BARBER, S.A. *Soil Nutrient Bioavailability: a mechanistic approach*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1984. 398p.
- BORGES, L.C.V.; COSTA, A.V.; MACHADO, S.C.; FARIAS, J.G.; MONTEIRO, P.M.F.O.; KLIEMAN, H.J. Calibração de análise química do solo, caracterização da curva de resposta e efeito residual de três fontes de fósforo em solos do Estado de Goiás. *Relatório Técnico 1978*. Goiânia: EMGOPA, 1979. p.192-195.
- COLWELL, J.D.; MORTON, R. Development and evaluation of general or transfer models of relationship between wheat yields and fertilizer rates in southern Australia. *Australian Journal of Soil Research*, v.22, p.191-205, 1984.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Rio de Janeiro, 1979.
- FONTES, P.C.R.; WILCOX, G.E. Establishing sorption isotherm to meet phosphorus requirement for tomato seedling growth. *Journal of Plant Nutrition*, v.6, p.863-876, 1983.
- JONES, L.G.; CONSTANTIN, R.J.; HERNANDEZ, T.P. The response of sweet potatoes to fertilizer phosphorus and potassium as related to levels of these elements available in the soil. *Bulletin, Agricultural Experiment Station Louisiana State University*, n.772, p.1-42, 1979.
- KOVAR, J.L.; BARBER, S.A. Phosphorus supply characteristics of 33 soils as influenced by seven rates of phosphorus addition. *Soil Science Society of America Journal*, v.52, p.160-165, 1988.
- KOVAR, J.L.; BARBER, S.A. Placing phosphorus and potassium for greatest recovery. *Journal of Fertilizer Issues*, v.4, p.1-6, 1987.
- MAGALHÃES, J.R.; RODRIGUES, F.C.; ROSSI, P.E.F.; WILCOX, G.E.; SILVA, F.L.I.M. Development of phosphorus fertilizer recommendations for tomatoes on an oxisol. *Journal of Plant Nutrition*, v.9, p.1171-1184, 1986.
- MURPHY, J.; RILEY, O.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. *Analytica Chimica Acta*, v.27, p.31-36, 1962.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. *Boletim Técnico Instituto Agrônomo*, v.81, p.15-21, 1983.
- RENGEL, Z.; ROBINSON, D.L. Modeling magnesium uptake from an acid soil. II. Barber-Cushman Model. *Soil Science Society of America Journal*, v.54, p.791-795, 1990.

- SILBERBUSH, M.; BARBER, S.A. Sensitivity of simulated phosphorus uptake to parameters used by a mechanistic mathematical model. **Plant Soil**, v.74, p.93-100, 1983.
- SILVA, F.L.I.M.; MAGALHÃES, J.R. Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados na simulação de absorção de fósforo pelo tomateiro, com o modelo matemático de Cushman-Barber. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.315-320, 1989.
- SILVA, F.L.I.M.; MAGALHÃES, J.R. Formas de nitrogênio e tipo de substrato nos parâmetros de absorção de fósforo pelo milho-doce. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.173-180, 1990.
- SMYTH, T.J.; SANCHEZ, P.A. Níveis críticos de fósforo para arroz de sequeiro, em um Latossolo dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v.4, p.88-92, 1980.